

# **Электромеханика и машиностроение**

## **Electromechanics and mechanical engineering**

---

---

УДК 621.398

### **ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА**

**Б.Н.АБРАМОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор, *babramov@mail.ru*

**Ю.А.СЫЧЕВ**, канд. техн. наук, доцент, *sychev\_yura@mail.ru*

*Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия*

Разработан комплекс технических средств и решений по обеспечению надлежащего уровня энергетической безопасности предприятий минерально-сырьевого комплекса, включая методы: управления режимом напряжения, повышения качества электрической энергии, обеспечения динамической устойчивости электроустановок, повышения надежности электроснабжения, управления структурой распределительных сетей, комбинированного использования альтернативных и возобновляемых источников энергии. Обоснована необходимость обеспечения энергетической безопасности объектов минерально-сырьевого комплекса с технической точки зрения с привлечением современных достижений и разработок в области электротехнических комплексов и систем.

**Ключевые слова:** горный, энергетическая безопасность, энергосбережение, энергоэффективность, минерально-сырьевой, энергообеспечение, энергопотребление.

Минерально-сырьевой комплекс (МСК) включает совокупность отраслей по разведке, добыче, транспортировке и переработке твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых. Горная промышленность как неотъемлемая часть МСК состоит из следующих отраслей: добыча минерального энергетического сырья, добыча и переработка руд черных и легирующих металлов, добыча и переработка руд цветных металлов, добыча горно-химического сырья, добыча нерудного индустриального сырья и сырья для производства строительных материалов, добыча драгоценных и поделочных камней, гидрометаллургическая промышленность.

Основной тенденцией развития МСК РФ является освоение перспективных запасов твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, расположенных на северном морском шельфе и в отдаленных северо-восточных районах РФ, не охваченных централизованным энергообеспечением [4].

Технологические процессы на предприятиях горной промышленности весьма энергоемки, при этом энергетическая составляющая может составлять 10-40 % и более от общего объема затрат. Например, в условиях нефтегазодобычи и производства алюминия энергетическая составляющая достигает 35 %, при транспортировке нефти и газа – 70-80 % [4]. Среди составляющих энергетических затрат наибольшее значение имеют затраты, связанные с потреблением, распределением и преобразованием электрической энергии [4, 20].

Проблема энергетической безопасности объектов минерально-сырьевого комплекса неразрывно связана с повышением уровня энергосбережения и энергетической эффективности всех стадий добычи, переработки и транспортировки твердых, жидких и газообраз-

ных полезных ископаемых. Термин «энергетическая безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса» имеет технические, экономические и организационные аспекты.

С технической точки зрения энергетическая безопасность – это совокупность режимов энергообеспечения и энергопотребления, при которых сохраняется непрерывность и устойчивость технологических процессов добычи, транспортировки и переработки твердых, жидкого и газообразных полезных ископаемых, что в конечном итоге позволяет минимизировать ущербы от снижения объемов добычи из-за нарушения режимов электроснабжения. В этой связи представляется целесообразным рассматривать проблему обеспечения энергетической безопасности объектов МСК с технической точки зрения с привлечением современных информационных технологий управления. Оценка уровня энергетической безопасности и энергоэффективности также должна производиться на основе комплексного анализа позитивного и негативного технического влияния ряда факторов, наличие которых обусловлено различными явлениями.

Энергетическая безопасность и эффективность технологических процессов на объектах МСК определяются надлежащим выполнением следующих требований:

- обеспечение электроснабжения технологических процессов в заданном объеме, в заданное время с учетом территориальной рассредоточенности объектов МСК;
- достижение уровня надежности электроснабжения, который должен обеспечивать устойчивость и непрерывность технологического процесса [2, 5];
- соответствие уровня качества подводимой электрической энергии нормам ГОСТ 32144-2013;
- соблюдение требований промышленной безопасности, включая необходимые мероприятия по электробезопасности;
- обеспечение минимизации энергетических затрат в общей себестоимости добываемых полезных ископаемых [18];
- максимально возможное использование альтернативных и возобновляемых источников энергии: ветроэнергетических установок [1], солнечных электростанций [14] и микротурбинных установок, работающих на попутном нефтяном газе.

Для реализации перечисленных выше требований по обеспечению энергетической безопасности проводились исследования структуры, параметров и режимов работы систем электроснабжения и нагрузки потребителей МСК. Установлены регулирующие эффекты активной и реактивной мощности на предприятиях нефтегазодобычи и угольной промышленности [7, 8].

Разработан метод управления режимом напряжения, включая оптимальное групповое регулирование напряжения на шинах электроподстанций 6(10), 35 кВ с автоматическим выбором коэффициента трансформации в зависимости от режима энергопотребления, параметров распределительных сетей и подключенными нагрузками посредством теории нечеткой логики [7, 13]. В основе данного метода лежит выявленная целевая функция оптимального режима напряжения, которая позволяет минимизировать потери активной мощности в электроприемниках и дополнительные потери, возникающие при передаче реактивной мощности в системах электроснабжения предприятий МСК, а также учитывает статические характеристики нагрузки по активной и реактивной мощности, распределение электроприемников вдоль радиально-магистральных линий и вектор управления [11, 15].

Определены аналитические зависимости статических коэффициентов и регулирующих эффектов узлов нагрузки при вариации долевого участия различных видов электроприемников в суммарной мощности узла и рассчитаны коэффициенты статических характеристик активной мощности для узла нагрузки при варьировании соотношения долевого участия различных типов нагрузки [8].

Разработана методика выбора, определяющего режим напряжения присоединения с применением нечеткой логики, на основе выявленных зависимостей, влияющих на целевую функцию, что позволяет определить режим напряжения и критерии его оптимизации

для питающей линии [7, 13]. Указанные разработки успешно внедрены в условиях ОАО «Татнефть» и ООО «ПО Киршинефтеоргсинтез», получены патенты на изобретения № 2416855 «Устройство управления режимом напряжения в электрической сети с применением fuzzy-логики» и № 2467447 «Устройство динамического управления режимом напряжения в электрической сети с применением fuzzy-логики».

В процессе исследований по результатам математического и имитационного моделирования выявлено, что устойчивость режимов электрооборудования, обеспечивающего непрерывный технологический цикл, зависит от глубины и длительности провалов напряжения и уровня его восстановления [2]. На примере погружных двигателей электроцентробежных насосов и синхронных двигателей установок поддержания пластового давления определен минимально допустимый уровень падения напряжения. Показано, что снижение уровня питающего напряжения ниже минимально допустимого, а также перерывы в электроснабжении длительностью свыше 0,15 с [2, 12] приводят к нарушению устойчивости и непрерывности сложных технологических процессов добычи из-за ложного срабатывания системы релейной защиты, технологической и электросетевой автоматики, отказам в электроснабжении особой группы потребителей первой категории и значительному экономическому ущербу, связанному с возникновением значительных потерь добычи ресурсов [2, 17].

Обоснована эффективность компенсации провалов и отклонений напряжения посредством устройства динамической компенсации искажения напряжения (ДКИН) с фазовой синхронизацией вольтодобавки для условий протяженных линий электропередачи с резко-переменной нагрузкой. Разработана математическая имитационная модель электротехнического комплекса предприятия МСК, которая позволяет оценить допустимые уровень и длительность провалов напряжения при пуске мощных двигателей в конце радиально-магистральной линии. По результатам исследований установлено, что наиболее целесообразно подключать ДКИН в начале линий либо в начале участков радиально-магистральных линий, предшествующих узлам нагрузки с недопустимыми по уровню и продолжительности провалами напряжения.

Разработаны методы управления топологией распределительных сетей с использованием средств электросетевой автоматики, включая пункты автоматического секционирования и быстродействующие устройства автоматического ввода резерва на основе тиристорных коммутаторов [5]. Обоснована структура автоматического секционирования линии электропередачи, обеспечивающая повышение надежности и эффективности предприятий МСК. Установлено, что длительность отключений электроснабжения при последовательно-параллельном секционировании в сети с двухсторонним питанием с применением предложенной структуры снижается на 87 %, частота отказов уменьшается в 1,8 раза, а время восстановления после отказа – в 1,4 раза. Обоснована структура многоуровневой системы секционирования, позволяющая локализовать зону повреждения и, как следствие, уменьшить ущерб из-за потери добычи полезных ископаемых [19]. Разработан алгоритм управления многоуровневой системой электроснабжения, обеспечивающий время перерыва электроснабжения, по истечении которого после восстановления напряжения наиболее ответственные потребители МСК возвращаются в исходное состояние, предшествующее потере напряжения, с сохранением непрерывности и устойчивости технологического процесса.

Разработан электротехнический комплекс для повышения надежности электроснабжения объектов МСК на основе использования устройств многоступенчатого быстродействующего автоматического ввода резерва [5]. Указанный комплекс выполнен на основе источников бесперебойного питания, быстродействующих тиристорных коммутаторов, блоков фазовой синхронизации, тиристорных устройств автоматического ввода резерва и двух независимых автономных источников энергии.

Разработана технология управления качеством электрической энергии в условиях широкого внедрения нелинейной нагрузки в виде силовой преобразовательной техники [21, 22]. Данная технология основана на комплексном использовании активных систем коррек-

ции формы кривых тока и напряжения, а также гибридных фильтрокомпенсирующих устройств. Обоснована методика выбора структуры, основных параметров, алгоритмического обеспечения и места размещения активных и гибридных систем коррекции в условиях предприятий МСК с территориально-распределенной нелинейной нагрузкой [10, 21, 22].

Обоснована возможность создания структур систем электроснабжения объектов газотранспортных систем с газотурбинным приводом с исключением промежуточной ступени трансформации 10 кВ и питания маломощных потребителей через трансформаторы 35/0,4 кВ с сохранением требуемого уровня надежности электроснабжения. Обоснована оптимальная с точки зрения структурной избыточности и достаточности схема электротехнического комплекса компрессорной станции магистрального газопровода с использованием двух генераторов собственных нужд, одной линии электропередачи, работающей через трансформатор 35/0,4 кВ, и источника бесперебойного питания, находящегося в режиме онлайн.

Обоснована методика выбора в составе электроустановок МСК потребителей-регуляторов, обеспечивающих оптимальные режимы прохождения суточных зон графиков электрической нагрузки [7, 8]. Выявлены профили графиков электрических нагрузок, которые позволяют осуществить координацию электрических нагрузок и минимизировать их совмещенный максимум в условиях предприятий МСК. Показатели, характеризующие профили графиков электрических нагрузок отдельных присоединений, сборных шин, подстанций и предприятия МСК в целом, могут рассматриваться как паспорта электрических нагрузок, позволяющие выбрать оптимальный режим работы потребителей-регуляторов. Выявлено, что преобразование профилей графиков электрических нагрузок на примере нефтегазодобывающих предприятий в часы максимума электрических нагрузок должно производиться путем использования в качестве потребителей-регуляторов электротехнических комплексов установок поддержания пластового давления при одновременном снижении до допустимого уровня пусковых токов на питающую сеть и синхронные двигатели [6, 9]. В результате преобразования графиков электропотребления достигается снижение оплаты за электрическую энергию в условиях нефтедобычи на 10-15 %. Установлено, что для условий нефтедобычи потребляемая мощность установками поддержания пластового давления составляет 35-45 % от общей мощности, потребляемой предприятием [19]. По условиям технологического процесса закачки воды в пласты электродвигатели приводов насосов установок поддержания пластового давления могут быть отключены на время прохождения максимумов нагрузки энергосистем [2, 10].

Разработаны математические модели энергоэффективных электромеханических комплексов с синхронными двигателями и тиристорным возбуждением для применения в оптимизационных расчетах при выборе экономически обоснованных средств компенсации реактивной мощности в узлах нагрузки предприятий МСК [6, 9]. Выявлены способы оптимального использования электромеханических комплексов с синхронными двигателями и тиристорным возбуждением в режиме компенсаторов реактивной мощности в узлах нагрузки предприятий МСК с учетом показателей графиков реактивной мощности, современных требований энергосистем к компенсации реактивной мощности [3, 6, 9].

Разработана эффективная система молниезащиты линий электропередачи и энергообъектов, включая технологии обеспечения промышленной и электробезопасности с использованием специализированных ограничителей перенапряжения, позволяющих осуществить каскадное действие грозозащиты. Основной задачей такой системы является защита силового электрооборудования подстанций и линий электропередач от набегающих волн перенапряжений [16]. Второстепенной задачей является обеспечение бесперебойности электроснабжения путем исключения перекрытий изоляторов при наведенных перенапряжениях, прямых ударах молний и обратных перекрытиях с опоры на провод при ударах молний в опору. В многоуровневой системе отдельные устройства защиты включаются в каскадную схему ограничения перенапряжений, снижая остаточный уровень напряжения по мере при-

ближения к защищаемому электрооборудованию. Структура системы молниезащиты включает в себя пассивные и активные молниеотводы, защитные аппараты, защитное заземление и основную изоляцию электрооборудования.

Обоснована эффективность внедрения и комбинированного использования альтернативных и возобновляемых источников энергии, включая микротурбинные установки, работающие на попутном нефтяном газе, ветроэнергетические установки и солнечные электростанции [24, 25]. Выявлено, что для накопления энергии в этом случае наиболее эффективно использование суперконденсаторных накопительных модулей.

В суровых климатических условиях РФ, где находится основная часть предприятий МСК, а также разведанных и перспективных запасов минерального сырья, обоснована необходимость перехода от воздушных линий электропередачи с неизолированными проводами к линиям с изолированными или покрытыми изоляцией проводами.

Разработаны методы оптимизации режимов нейтрали в сетях 6(10) и 35 кВ путем вариации параметров и методов соединения нейтрали с землей.

Разработаны способы выявления и устранения однофазных коротких замыканий в протяженных линиях электропередачи напряжением 6(10) кВ. Выявлены закономерности, позволяющие определить поврежденную фазу в сети среднего напряжения 6(10) кВ при вариации переходного сопротивления в месте однофазного замыкания и проводимостей фаз относительно земли.

Обоснована необходимость оснащения распределительных сетей источниками бесперебойного питания, работающими в режиме онлайн, которые обеспечивают динамическую устойчивость наиболее ответственного технологического электрооборудования МСК [5].

Разработана методика повышения надежности электроснабжения объектов МСК с использованием метода логико-вероятностного моделирования для выявления структурной и параметрической достаточности конфигурации систем электроснабжения.

Обоснована необходимость обеспечения присоединений на уровне 0,4, 6(10) и 35 кВ приборами учета, управления и непрерывного мониторинга режимов энергообеспечения и энергопотребления [17, 23], объединенных в единую интеллектуализированную систему мониторинга и контроля применения энергетических ресурсов при использовании распределенной генерации как отдельно, так и совместно с централизованной энергосистемой. Разработана структура и алгоритм функционирования интеллектуализированной системы контроля и учета энергопотребления, с использованием современных измерительных устройств [17]. Данная система осуществляет сбор и анализ информации о значимых факто-рах, явных и скрытых закономерностях, их влиянии на энергетические процессы, что позволяет в режиме реального времени формировать информационно-управляющие воздействия [17, 23] для отдельных элементов электрической сети исходя из текущих режимов энергопотребления и энергообеспечения. Определены способы повышения надежности, точности и экономичности интеллектуализированных систем контроля и учета энергопотребления для условий территориально-распределенных потребителей МСК. Указанные разработки успешно внедрены в промысловых электрических сетях ОАО «Татнефть».

Приведенные технические средства и решения, которые по мере необходимости и с учетом специфики конкретного предприятия МСК необходимо использовать в едином комплексе, позволят обеспечить надлежащий уровень энергетической безопасности объектов МСК с учетом влияния внешних и внутренних факторов, минимизировать потери добычи твердых, жидкого и газообразных полезных ископаемых, снизить, по меньшей мере, в 2 раза энергетическую составляющую в общей себестоимости добываемых полезных ископаемых.

*Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации государственного задания «Повышение конкурентоспособности предприятий минерально-сырьевого комплекса путем снижения энергетической составляющей в себе-*

*стоимости продукции посредством распределенной генерации с комбинированным использованием альтернативных и возобновляемых источников энергии и суперконденсаторными накопительными модулями», контракт № 13.707.2014/К от 11 июля 2014 г., и реализации гранта СП-671.2015.1 «Энергоэффективная система повышения качества электрической энергии в условиях микросетей с распределенной генерацией на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии» стипендии Президента Российской Федерации.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Б.Н. Выбор параметров ветродизельной установки для энергообеспечения минерально-сырьевого комплекса / Б.Н.Абрамович, А.А.Бельский // Записки Горного института. 2012. Т.195. С.227-230.
2. Абрамович Б.Н. Динамическая устойчивость работы установок электроцентробежных насосов / Б.Н.Абрамович, Д.А.Устинов, В.Е.Поляков // Нефтяное хозяйство. 2010. № 9. С.104-106.
3. Абрамович Б.Н. Дополнительные потери активной мощности в синхронных двигателях при работе их в режиме компенсации реактивной мощности / Б.Н.Абрамович, Ю.В.Коновалов // Электричество. 1990. № 5. С.42-45.
4. Абрамович Б.Н. Комплексная система контроля качества электрической энергии на предприятиях по добыче и переработке полезных ископаемых // Записки Горного института. 2008. Т.178. С.110-115.
5. Абрамович Б.Н. Многоступенчатая система автоматического ввода резерва на основе источников бесперебойного питания в системах электроснабжения объектов горных предприятий / Б.Н.Абрамович, Ю.А.Сычев, А.В.Федоров // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 6 (115). С.17-20.
6. Абрамович Б.Н. Опыт разработки, промышленного производства и эксплуатации бесщеточных синхронных машин / Б.Н.Абрамович, И.К.Амбросов // Электротехника. 1982. № 3. С.35-38.
7. Абрамович Б.Н. Регулирование уровней напряжения на промышленных предприятиях в часы максимума нагрузки / Б.Н.Абрамович, П.М.Каменев, Д.Н.Нурбосынов / ЦНИИЭуголь. М., 1987. С.22-26.
8. Абрамович Б.Н. Регулирующие эффекты нагрузок промышленных предприятий и их использование в часы максимума энергосистемы / Б.Н.Абрамович, П.М.Каменев // Промышленная энергетика. 1988. № 8. С.17-20.
9. Абрамович Б.Н. Система возбуждения синхронных машин с использованием преобразователей с двухсторонней проводимостью / Б.Н.Абрамович, Ю.А.Бирюков, В.М.Вадатурский // Электричество. 1970. № 11. С.17-20.
10. Абрамович Б.Н. Системы коррекции кривых тока и напряжения в электротехнических комплексах нефтедобывающих предприятий / Б.Н.Абрамович, Ю.А.Сычев, Ю.В.Гульков // Энергетика в нефтегазодобыче. 2005. № 1-2. С.43-45.
11. Абрамович Б.Н. Совершенствование режима потребления электроэнергии на нефтедобывающих предприятиях / Б.Н.Абрамович, В.Я.Чаронов // Нефтяное хозяйство. 1988. № 7. С.14-18.
12. Абрамович Б.Н. Статическая устойчивость погружных асинхронных двигателей в нефтепромысловых распределительных сетях с продольной и поперечной емкостной компенсацией / Б.Н.Абрамович, К.А.Ананьев, О.В.Иванов // Промышленная энергетика. 1985. № 4. С.27-31.
13. Абрамович Б.Н. Устройство управления режимом напряжения в электрических сетях сырьевого комплекса / Б.Н.Абрамович, А.П.Шевчук, Д.М.Тарасов // Записки Горного института. 2012. Т.196. С.214-217.
14. Абрамович Б.Н. Фотоэлектрическая станция прямого преобразования для объектов минерально-сырьевого комплекса / Б.Н.Абрамович, Э.В.Яковлева // Записки Горного института. 2012. Т.196. С.210-213.
15. Абрамович Б.Н. Электродвигатели насосных станций как потребители-регуляторы активной и реактивной мощности / Б.Н.Абрамович, В.Я.Чаронов // Нефтяное хозяйство. 1990. № 5. С.35-39.
16. А.с. 1185490 СССР, МКИ Н 02 J 3/18 Устройство защиты от перенапряжений и субгармонических колебаний установок продольной емкостной компенсации / Б.Н.Абрамович, К.А.Ананьев, О.В.Иванов, Л.В.Макурова, Д.Н.Нурбосынов. Опубл. 15.10.1985. Бюл. № 38. 3 с.
17. Комплекс автоматической минимизации искажений кривых тока и напряжения в сетях предприятий цветной металлургии / Б.Н.Абрамович, С.Е.Лозовский, Д.М.Тарасов, Ю.А.Сычев, Э.А.Загривный // Цветные металлы. 2008. № 12. С.72-76.
18. Коррекция коэффициента мощности в сетях нефтепромыслов с помощью активного фильтра / Б.Н.Абрамович, Ю.А.Сычев, А.В.Медведев, В.В.Старостин, Е.Н.Аболемов, В.В.Полищук // Нефтяное хозяйство. 2008. № 5. С.88-90.
19. Оптимизация режимов работы промысловых линий электропередачи / Б.Н.Абрамович, О.В.Иванов, Д.Н.Нурбосынов, Л.В.Макурова, В.А.Лейман // Промышленная энергетика. 1984. № 12. С.21-24.
20. Сычев Ю.А. Измерение и анализ показателей качества электрической энергии в сетях нефтедобывающих предприятий // Записки Горного института. 2007. Т.173. С.109-111.
21. Сычев Ю.А. Системы коррекции кривых тока и напряжения // Записки Горного института. 2006. Т.167. Часть 1. С.190-193.
22. Сычев Ю.А. Экспериментальные исследования режимов работы параллельного активного фильтра в сетях ОАО «Оренбургнефть» // Записки Горного института. 2009. Т.182. С.114-117.
23. Учет и регулирование электроэнергии с использованием микропроцессорной техники / Б.Н.Абрамович, Ю.В.Коновалов, А.С.Логинов, В.Я.Чаронов, А.Н.Евсеев // Электрические станции. 1989. № 9. С.30-35.

24. Abramovich B.N. Intelligent power system on the base of active-adaptive control and interaction between elements / B.N.Abramovich, Yu.A.Sychev, A.A.Belsky // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). 2015. P.1-6. DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147230.

25. Abramovich B.N. The Application of Modern Information Technologies for Power Monitoring and Control in Conditions of Distributed Generation / B.N.Abramovich, V.B.Prochorova, Yu.A.Sychev // Proceeding of the 16th conference of FRUCT association, 27-31 Oct., Oulu (Finland). 2014. P.3-8. ISSN: 2305-7254, DOI: 10.1109/FRUCT.2014.7000938.

## REFERENCES

1. Abramovich B.N., Bel'skij A.A. Vybor parametrov vetrodizel'noj ustanovki dlja jenergoobespechenija mineral'nosyr'evogo kompleksa (*Choice of wind-diesel installation parameters of power supply for mineral resources enterprises*). Zapiski Gornogo instituta. 2012. Vol.195, p.227-230.
2. Abramovich B.N., Ustinov D.A., Poljakov V.E. Dinamicheskaja ustojchivost' raboty ustanovok jeklektrocentrobezhnyh nasosov (*Dynamic stability of electrocentrifugal pumps functioning*). Neftjanoe hozjajstvo. 2010. N 9, p.104-106.
3. Abramovich B.N., Konovalov Ju.V. Dopolnitel'nye poteri aktivnoj moshhnosti v sinchronnyh dvigateljakh pri работе ih v rezhime kompensacii reaktivnoj moshhnosti (*Additional active power losses in synchronous motors while working in reactive power compensation mode*). Jelektrichestvo. 1990. N 5, p.42-45.
4. Abramovich B.N. Kompleksnaja sistema kontrolja kachestva jeklektricheskoy jenergii na predpriyatijah po dobyche i pererabotke poleznyh iskopaemyh (*A complex system of power quality control in mineral resources extraction and processing enterprises*). Zapiski Gornogo instituta. 2008. Vol.178, p.110-115.
5. Abramovich B.N., Sychev Ju.A., Fedorov A.V. Mnogostupenchataja sistema avtomaticheskogo vvoda rezerva na osnovе istochnikov besperebojnogo pitanija v sistemah jeklektrosnabzhenija ob'ektov gornyh predpriatij (*Multistage system of automatic reserve switching on the base of uninterrupted power supply devices in power supply systems of mining enterprises*). Gornoe oborudovanie i jeklektromehanika. 2015. N 6 (115), p.17-20.
6. Abramovich B.N., Ambrosov I.K. Opty razrabotki, promyshlennogo proizvodstva i jekspluatacii besshhetochnyj sinchronnyh mashin (*Experience of development, industrial application and operation of brushless synchronous engines*). Jeklrotehnika. 1982. N 3, p.35-38.
7. Abramovich B.N., Kamenev P.M., Nurbosynov D.N. Regulirovanie urovnej naprjazhenija na promyshlennyh predpriyatijah v chasy maksimuma nagruzki (*Voltage levels regulation at industrial enterprises during hours of maximum load*). CNIJelugol'. Moscow, 1987, p.22-26.
8. Abramovich B.N., Kamenev P.M. Regulirujushchie jeffekty nagruzok promyshlennyh predpriatij i ih ispol'zovanie v chasy maksimuma jenergosistemy (*Regulation effects of industrial enterprises loads and their use during hours of power supply maximum*). Promyshlennaja jenergetika. 1988. N 8, p.17-20.
9. Abramovich B.N., Birjukov Ju.A., Vadatarskij V.M. Sistema vozbuždenija sinchronnyh mashin s ispol'zovaniem preobrazovatelej s dvuhstoronnej provodimost'ju (*The system of synchronous machines excitation by means of converters with double-ended conductance*). Jeklektrichestvo. 1970. N 11, p.17-20.
10. Abramovich B.N., Sychev Ju.A., Gul'kov Ju.V. Sistemy korrekciij krivyh toka i naprjazhenija v jeklekrotehnicheskikh kompleksah neftedobyvajushhih predpriatij (*Systems of voltage and current waveforms correction in electric complexes of oil processing enterprises*). Jenergetika v neftegazodobyche. 2005. N 1-2, p.43-45.
11. Abramovich B.N., Charonov V.Ja. Sovremenstvovanie rezhima potrebljenija jeklektrojenergii na neftedobyvajushhih predpriatijah (*Improving of power consumption mode at oil production enterprises*). Neftjanoe hozjajstvo. 1988. N 7, p.14-18.
12. Abramovich B.N., Anan'ev K.A., Ivanov O.V. Staticeskaja ustojchivost' pogruzhnyh asinhronnyh dvigatelej v nestepromyslovyh raspredelitel'nyh setjah s prodol'noj i poperechnoj emkostnoj kompensacij (*Static stability of submersible asynchronous electric motors in power supply systems at oil production enterprises with longitudinal and crosscut capacitive compensation*). Promyshlennaja jenergetika. 1985. N 4, p.27-31.
13. Abramovich B.N., Shevchuk A.P., Tarasov D.M. Ustrojstvo upravlenija rezhimom naprjazhenija v jeklektricheskikh setjah predpriatij syr'evogo kompleksa (*A device of voltage mode control in power supply systems at mineral resources enterprises*). Zapiski Gornogo instituta. 2012. Vol.196, p.214-217.
14. Abramovich B.N., Jakovleva Je.V. Fotojeklektricheskaja stancija prjamogo preobrazovanija dlja ob'ektov mineral'nosyr'evogo kompleksa (*Photovoltaic station of direct conversion for objects of the mineral resources sector*). Zapiski Gornogo instituta. 2012. Vol.196, p.210-213.
15. Abramovich B.N., Charonov V.Ja. Jeklektrodvigateli nasosnyh stancij kak potrebiteli-reguljatory aktivnoj i reaktivnoj moshhnosti (*Electric motors of pump stations as consumers-regulators of active and reactive power*). Neftjanoe hozjajstvo. 1990. N 5, p.35-39.
16. Abramovich B.N., Anan'ev K.A., Ivanov O.V., Makurova L.V., Nurbosynov D.N. A.s. 1185490 SSSR, MKI H 02 J 3/18 Ustrojstvo zashhity ot perenaprjazhenij i subgarmoniceskikh kolebanij ustanovok prodol'noj emkostnoj kompensacii (*A device for overvoltages and sub-harmonic fluctuations protection of installations of longitudinal capacitive compensation*). Opubl. 15.10.1985, Bjul. N 38, p.3.
17. Abramovich B.N., Lozovskij S.E., Tarasov D.M., Sychev Ju.A., Zagrivnyj Je.A. Kompleks avtomaticheskoy minimizacii iskazhenij krivyh toka i naprjazhenija v setjah predpriatij cvetnoj metallurgii (*A complex of automatic minimization of voltage and current waveforms distortion in power supply systems of non-ferrous metallurgy enterprises*). Cvetnye metally. 2008. N 12, p.72-76.

18. Abramovich B.N., Sychev Ju.A., Medvedev A.V., Starostin V.V., Abolemov E.N., Polishhuk V.V. Korrekcija koeffienta moshhnosti v setjah neftepomyslov s pomoshh'ju aktivnogo fil'tra (*Power factor correction in power supply systems of oil production enterprises by means of active filter*). Neftjanoe hozjajstvo. 2008. N 5, p.88-90.
19. Abramovich B.N., Ivanov O.V., Nurbos'nov D.N., Makurova L.V., Lejman V.A. Optimizacija rezhimov raboty promyslovyh linij jelektroperedachi (*Functioning modes of power lines optimization at oil production enterprises*). Promyshlennaja jenergetika. 1984. N 12, p.21-24.
20. Sychev Ju.A. Izmerenie i analiz pokazatelej kachestva jelektricheskoy jenergii v setjah neftedobyvajushhih predpriyatiy (*The measurement and analysis of power quality factors in power supply systems of oil processing enterprises*). Zapiski Gornogo instituta. 2007. Vol.173, p.109-111.
21. Sychev Ju.A. Sistemy korrekciy krivyh toka i naprijazhenija (*The systems of voltage and current waveforms correction*). Zapiski Gornogo instituta. 2006. Vol.167. Chast' 1, p.190-193.
22. Sychev Ju.A. Jeksperimental'nye issledovanija rezhimov raboty parallel'nogo aktivnogo fil'tra v setjah OAO «Orenburgneft» (*Experimental researches of functioning modes of shunt active filter in power supply systems of JSC «Orenburgneft»*). Zapiski Gornogo instituta. 2009. Vol.182, p.114-117.
23. Abramovich B.N., Konovalov Ju.V., Loginov A.S., Charonov V.Ja., Evseev A.N. Uchet i regulirovanie jelektrojenergii s ispol'zovaniem mikroprocessornoj tehniki (*Electric power control and regulation by means of microprocessor devices*). Jelektricheskie stancii. 1989. N 9, p.30-35.
24. Abramovich B.N., Sychev Yu.A., Belsky A.A. Intelligent power system on the base of active-adaptive control and interaction between elements. International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON), 2015, p.1-6, DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147230.
25. Abramovich B.N., Prochorova V.B., Sychev Yu.A. The Application of Modern Information Technologies for Power Monitoring and Control in Conditions of Distributed Generation. Proceeding of the 16th conference of FRUCT association, 27-31 Oct., Oulu (Finland), 2014, p.3-8, ISSN: 2305-7254, DOI: 10.1109/FRUCT.2014.7000938.

## PROBLEMS OF ENSURING ENERGY SECURITY FOR ENTERPRISES FROM THE MINERAL RESOURCES SECTOR

**B.N.ABRAMOVICH**, Dr. of Engineering Sciences, Professor, babramov@mail.ru  
**Yu.A.SYCHEV**, PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, sychev\_yura@mail.ru  
National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

A complex of technical means and decisions for ensuring adequate level power safety at mineral resources enterprises has been developed, including voltage mode control method, power quality improvement method, method of ensuring dynamic stability for electricity-generating equipment, method of enhancing power supply reliability, distributive network structure control method, and method of combined use of alternative and renewable energy sources. The necessity of ensuring power safety for the objects of the mineral resources sector, from the technical point of view – with the application of modern achievements and developments in the area of electrical complexes and systems, has been proved.

**Key words:** mining, power safety, power saving, power efficiency, mineral resources, power supply, power consumption.